

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Energetiky

Průtočný kotel elektrárna Dětmarovice

Once-Through Boiler of Dětmarovice Power Plant

Student: Otto Dunička

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Ladislav Vilimec

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Otto Dunička**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice
Téma: **Průtočný kotel elektrárna Dětmarovice**
Once-through Boiler of Dětmarovice Power Plant

Zásady pro vypracování:

1. Stanovte:

- výrobní teplo kotle
- účinnost kotle
- spotřebu paliva
- velikost vstříku

2. Vypracujte:

- schéma tlakového systému kotle
- řízení přehříváků

3. Parametry:

- množství páry 650 t/h
- teplota páry 540 °C
- tlak páry 17,4 MPa

4. Palivo: směs černého uhlí

Seznam doporučené odborné literatury:

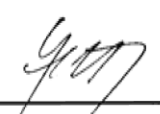
- [1] DLOUHÝ, T.: Výpočty kotlů a spalinových výměníků. Skripta ČVUT Praha, 2002.
[2] VILIMEC, L.: STAVBA KOTLŮ I. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2002.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ladislav Vilimec**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě dne..... podpis studenta.....

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne..... podpis studenta.....

Jméno a příjmení autora práce: Otto Dunička

Adresa trvalého pobytu autora práce: Rychvald 150, 73532

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DUNIČKA, O. *Průtočný kotel elektrárna Dětmárovice: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 31 s. Vedoucí práce: Vilimec, L.

Můj bakalářský projekt v úvodu stručně osvětlí podíl elektrárny Dětmárovice ve výrobě energie společnosti ČEZ. Následuje popis kotle doložený přílohou, která zobrazuje tvar spalovací komory a řazení přehříváků. Dále pak procentuální složení spalin za kotlem, stanovení účinnosti kotle a množství přivedeného a spáleného paliva. V další kapitole se věnuji stanovení množství vstříku na jednotlivé přehříváky, k tomuto jsem také vypracoval tlakové schéma. Na závěr hodnotím rozložení teplosměnných ploch přehříváků v tomto kotli.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DUNIČKA, O. *Once-trough boiler of Dětmárovice power plant: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2011, 31 p. Thesis head: Vilimec, L.

The beginning of my bachelor project deals with a share of Dětmárovice power plant on the ČEZ production of energy. The description of the boiler which is substantiated with enclosure showing the shape of the combustion chamber and the sorting of superheaters follows. Next the work deals with the percentage structure of combustion products behind the boiler and the specifying of boiler efficiency and an amount of supplied and burned fuel. In the next chapter I am writing about setting the ammount of the injection on particular superheaters and I have developed the pressure scheme for it. At the end of my thesis I am evaluating distribution of heating surfaces in this boiler.

OBSAH:

Přehled veličin:	7
Výpočtové parametry:	9
1.Úvod	10
1.1.Průtočný kotel typu Benson	11
2.Výpočtové metody	12
2.1.Projekční výpočet kotle	12
2.2.Kontrolní výpočet kotle	13
3.Výpočet účinnosti kotle	14
3.1.Stechiometrické výpočty.....	14
3.1.1.Procentní složení spalin	18
3.2.Stanovení měrné tepelné kapacity spalin	19
3.3.Stanovení účinnosti kotle nepřímou metodou	20
3.3.1.Celková ztráta nedopalem	21
3.3.2.Celková ztráta fyzickým teplem	22
3.3.3.Celková ztráta kotle	22
3.3.4.Účinnost kotle nepřímou metodou	22
4.Stanovení celkového tepelného výkonu kotle	23
4.1.Výpočet celkového tepelného výkonu kotle	24
5.Výpočet množství spotřebovaného paliva	25
5.1.Skutečné množství paliva přivedeného do kotle.....	25
5.2.Výpočtové množství spáleného paliva	25
6.Množství vstříkované vody do jednotlivých přehříváků	25
6.1.Výpočet druhého vstříku.....	26
6.2.Výpočet prvního vstříku	27
6.3.Výpočet nultého vstříku.....	28
7.Závěr	29
Seznam použité literatury	30
Seznam příloh	31

Přehled veličin:

A^r	[%]	Procento popeloviny v surovém vzorku paliva
c_{pCO_2}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita oxidu uhličitého
c_{pH_2O}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita vodní páry
c_{pN_2}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita dusíku
c_{pO_2}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita kyslíku
c_{pop}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita popílku
c_{pSO_2}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita oxidu siřičitého
c_{psp}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita spalín
c_{str}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita strusky
\dot{m}_{MP1}	$[t \cdot h^{-1}]$	Hmotnostní průtok nízkotlaké páry-vstup
\dot{m}_{MP2}	$[t \cdot h^{-1}]$	Hmotnostní průtok nízkotlaké páry-výstup
\dot{m}_{PP}	$[t \cdot h^{-1}]$	Hmotnostní průtok přehřáté páry
\dot{m}_V	$[t \cdot h^{-1}]$	Hmotnostní průtok vstříku do nízkotlaké páry
p_{MP1}	[MPa]	Tlak nízkotlaké páry-vstup
p_{MP2}	[MPa]	Tlak nízkotlaké páry-výstup
p_{NV}	[MPa]	Tlak napájecí vody
p_{PP}	[MPa]	Tlak přehřáté páry
p_V	[MPa]	Tlak vstříku do nízkotlaké páry
t_{MP1}	[°C]	Teplota nízkotlaké páry-vstup
t_{MP2}	[°C]	Teplota nízkotlaké páry-výstup
t_{NV}	[°C]	Teplota napájecí vody
t_O	[°C]	Teplota okolí
t_{PP}	[°C]	Teplota přehřáté páry
t_S	[°C]	Teplota spalín
t_V	[°C]	Teplota vstříku do nízkotlaké páry
C_s	[1]	Součinitel spalitelných zbytků
Q_{ci}	$[MJ \cdot kg^{-1}]$	Výhřevnost uhlíku
V_{CO_2}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem oxidu uhličitého
V_{H_2O}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem vody ve spalínách
V_{O_2}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem kyslíku
V_{O_2min}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Minimální měrný objem spalovacího kyslíku

V_{SO_2}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem oxidu siřičitého
V_{SS}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem suchých spalin
V_{SV}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem vlhkých spalin
V_{SV}^{ts}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Měrný objem vlhkých spalin při teplotě spalin
V_{VZS}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Skutečný měrný objem suchého spalovacího vzduchu
V_{VZSmin}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Minimální měrný objem suchého spalovacího vzduchu
V_{VZV}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Skutečný měrný objem vlhkého spalovacího vzduchu
V_{VZVmin}	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$	Minimální měrný objem vlhkého spalovacího vzduchu
X_s	[1]	Podíl popela z celkového množství v nedopalu
Z_C	[%]	Ztráta nedopalem
Z_{Celk}	[%]	Celková ztráta kotle
Z_{Cpop}	[%]	Ztráta nedopalem v popílků
Z_{Cstr}	[%]	Ztráta nedopalem ve strusce
Z_F	[%]	Ztráta fyzickým teplem
Z_{Fpop}	[%]	Ztráta fyzickým teplem v popílků
Z_{Fstr}	[%]	Ztráta fyzickým teplem ve strusce
Z_K	[%]	Ztráta komínová
α	[1]	Součinitel přebytku vzduchu
η	[%]	Účinnost kotle
φ	[%]	Relativní vlhkost vzduchu
χ	[1]	Součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti
ω_{CO_2}	[%]	Koncentrace oxidu uhličitého ve spalinách
ω_{H_2O}	[%]	Koncentrace vody ve spalinách
ω_{N_2}	[%]	Koncentrace dusíku ve spalinách
ω_{O_2}	[%]	Koncentrace kyslíku ve spalinách
ω_{SO_2}	[%]	Koncentrace oxidu siřičitého ve spalinách

Výpočtové parametry:

Prvkový rozbor černého uhlí, surového vzorku (hmotnostně) „r“

$$C^r = 60,22[\%] \quad H^r = 3,59[\%] \quad S^r = 0,37[\%]$$

$$N^r = 0,85[\%] \quad O_2^r = 4,83[\%] \quad W^r = 8,1[\%]$$

$$A^r = 22,04[\%]$$

Výhřevnost:

$$Q_i^r = 23,42[MJ \cdot kg^{-1}]$$

Oběh voda/pára

Napájecí Voda

$$t_{NV} = 250[^\circ C]$$

$$p_{NV} = 22,1[MPa]$$

Nízkotlaká pára-vstup

$$\dot{m}_{MP1} = 548,5[t \cdot h^{-1}]$$

$$t_{MP1} = 337[^\circ C]$$

$$p_{MP1} = 3,83[MPa]$$

Nízkotlaká pára-výstup

$$\dot{m}_{MP2} = 562[t \cdot h^{-1}]$$

$$t_{MP2} = 540[^\circ C]$$

$$p_{MP2} = 3,63[MPa]$$

Vstřík do nízkotlaké páry

$$\dot{m}_V = 31,5[t \cdot h^{-1}]$$

$$t_V = 163[^\circ C]$$

$$p_V = 5,53[MPa]$$

Ztráty

Popel

$$\text{popílek } X_{pop} = 85[\%]$$

$$\text{struska } X_{str} = 15[\%]$$

Nedopal

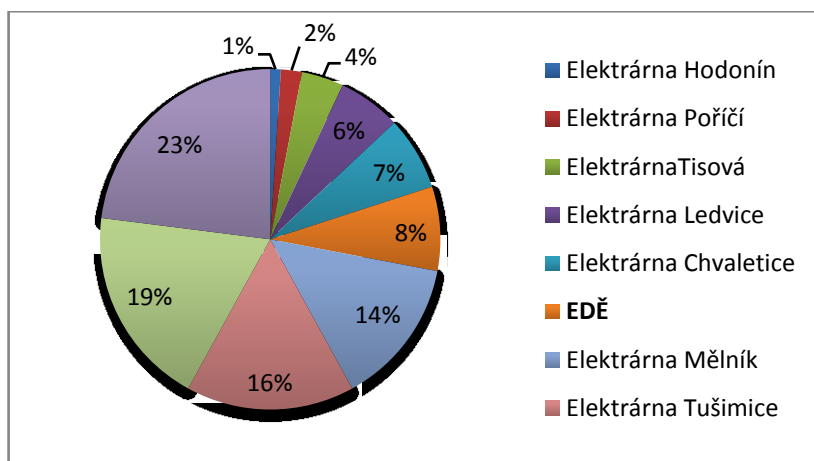
$$\text{popílek } C_{pop} = 3[\%]$$

$$\text{struska } C_{str} = 8[\%]$$

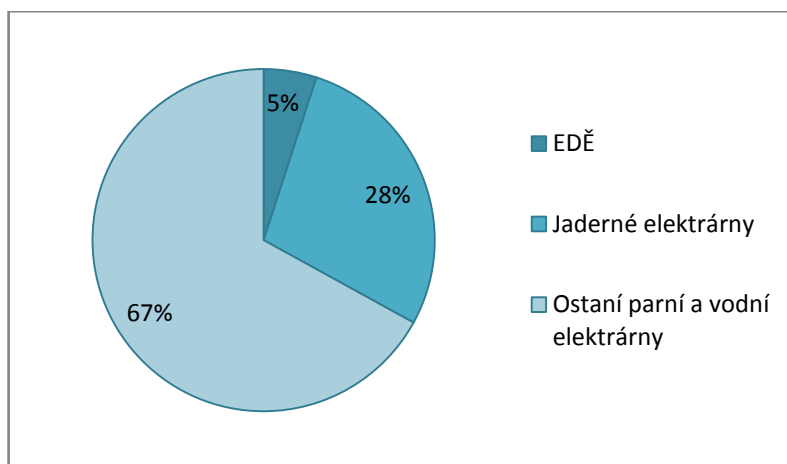
Teplota spalín za kotlem $t_s = 140[^\circ C]$

1.Úvod

V mé práci se zabývám procesem spalování černého uhlí v granulačním kotli jediné černouhelné elektrárny společnosti ČEZ (Česká energetická společnost) v České republice. Přičemž vycházím z již známých stechiometrických výpočtů. S čímž také souvisí účinnost, celková tepelná bilance a množství spotřebovaného paliva pro dosažení jmenovitého výkonu kotle. Elektrárna Dětmarovice, byla uvedena do provozu v roce 1976, jedná se o 4 bloky o výkonu 200MWe. Na každém bloku je vystavěn průtočný, dvoutahový kotel typu Benson. Černé uhlí je stále jedním ze zdrojů energie v energetickém mixu české republiky. Níže jsou uvedeny procentuální grafy výkonu EDĚ k součtu výkonů jednotlivých elektráren. Nejprve pouze uhelných, v dalším grafu je patrný celkový energetický přínos EDĚ pro skupinu ČEZ.



(Graf 1.1. podíl výroby elektřiny v uhelných elektrárnách společnosti ČEZ)



(Graf 1.2. podíl výroby elektřiny v EDĚ k celkové produkci elektrické energie v ČEZ)

Z grafů je patrné, že EDĚ se nemalou částí podílí na výrobě elektrické energie pro Českou republiku.

1.1.Průtočný kotel typu Benson

Tento text je zpracován na základě literatury [2] a [3].

Tento kotel patří mezi parní kotle, vodotrubné, průtočné s pohyblivým koncem odpařování. Je dvoutahový, svislý s podstavou 11x12m. V každém rohu spalovací komory jsou umístěny 4 práškové hořáky, ve výšce 18m. Osy práškových hořáků směřují tangenciálně k pomyslné kružnici ve středu spalovací komory. Nejvyšší teplota ve spalovací komoře je 1150 C. Na jeden práškový hořák připadá jeden kroužkový mlýn, jenž je schopen rozemlít Ostravský hruboprach na velikost menší než 0,2mm. Pod práškovým hořákem je umístěn hořák na zemní plyn, jež slouží k najetí kotle. V zadní části kotle je umístěn regenerativní ohřívák vzduchu typu Ljungström. Kotel zaručuje provoz v regulačním rozsahu 60-100% jmenovitého výkonu, což představuje výrobu 120-200MWe na každém ze 4 bloků. Voda do tohoto kotle vstupuje do druhého tahu, kde se v ohříváku vody ohřívá, poté je vedena do výparníku, který je proveden jako stěny spalovací komory. Zde se voda postupně vypaří a z výparníku vystupuje mírně přehřátá pára. Tato se dále přehřívá ve 4 přehřívácích, regulovaných 3 vstříky na teplotu 540 C při tlaku 17,4MPa. Z výstupu z posledního přehříváku se pára vede do vysokotlaké části turbíny a po následném vyexpandování je znovu přehřátá ve dvou přehřívácích s obtokem a s jedním vstříkem. Teplota výstupní páry je 540 C při tlaku 3,6MPa. Poté je vedena pára zpět do středotlaké části turbíny, kde znovu expanduje na tlak v kondenzátoru.

2.Výpočtové metody

Tato kapitola je zpracována na základě literatury [1].

Výpočtové metody se dělí na statický a dynamický tepelný výpočet kotle. Dynamickým tepelným výpočtem se určuje chování kotle při přechodových stavech, provádí se například při návrhování řídicích a regulačních systémů. Statický tepelný výpočet může mít charakter:

- Projekční
- Kontrolní

2.1.Projekční výpočet kotle

Cílem projekčního výpočtu kotle je návrh kotle, který by zaručil dosažení jmenovitých parametrů. Jmenovité parametry kotle jsou: výkon, teplota, tlak vody nebo páry, provozní a ekonomické ukazatele jako je například účinnost. Tomu je podřízena volba celkových dimenzí kotle včetně velikosti a uspořádání jednotlivých výhřevných ploch.

Zadání pro projekční výpočet musí obsahovat:

- Údaje o typu kotle a spalovací komory
- Palivo a jeho charakteristiku
- Parní výkon kotle, teplotu a tlak přehřáté páry, teplotu a tlak napájecí vody
- U kotle s mezipřehřívákem, množství a parametry páry na vstupu a výstupu
- Množství odběrové syté páry při odběru z bubnu
- Množství odluhu
- Hodnoty z výpočtu mlecího okruhu

2.2.Kontrolní výpočet kotle

Cílem kontrolního výpočtu kotle je modelování určitého provozního režimu daného kotle. Tento výpočet vychází z konstrukčního uspořádání kotle, které musí být detailně známé. Pro požadovaný parní nebo tepelný výkon, zadané palivo, vstupní parametry napájecí vody a vzduchu se počítají poměry sdílení tepla na jednotlivých výhřevných plochách kotle. Z tohoto se dále určí skutečný tepelný výkon plochy a výstupní parametry médií. Změnou regulovaných veličin (množství paliva, množství vstřikované vody použité k regulaci teploty páry) je třeba zabezpečit požadovanou změnu parametrů páry na výstupu z kotle. Výpočtem určíme teploty a průtoky spalin, vody, páry. Tímto je provozní stav kotle velmi podrobně určen. Z výsledných hodnot lze vyhodnotit například účinnost, spotřebu paliva a velikost vstříků. Kontrolní výpočty také využijeme v určování stavů při dílčích výkonech.

Zadání pro kontrolní výpočet musí obsahovat stejné údaje jako u zadání pro projekční výpočet a navíc:

- Výkresy kotle, které obsahují všechny konstrukční údaje
- Uspořádání jednotlivých výhřevných ploch

3. Výpočet účinnosti kotle

3.1. Stechiometrické výpočty

Tento text i výpočty jsou zpracovány na základě literatury [1].

Účelem stochiometrických výpočtů je stanovení objemu vzduchu potřebného pro spálení jednotkového množství paliva a objemu spalín, vznikajících při spalování, jedná se tedy o objemové výpočty. Vychází se přitom z chemických reakčních rovnic, jež jsou nazývány stochiometrické spalovací rovnice, a bilance látkových množství. Rozlišujeme dva základní modely:

- Model dokonalého spalování
- Model nedokonalého spalování

V mé práci se budu zabývat pouze modelem dokonalého spalování, kde narozdíl od nedokonalého spalování, dojde k hoření při přebytku vzduchu větším než 1 a takřka veškerá hořlavina obsažená v palivu se účastní spalovacího procesu. Model dokonalého spalování se tedy zásadně používá při technických aplikacích, tedy i při výpočtu parních kotlů.

Při stochiometrických výpočtech se vychází ze složení paliva v hmotnostních podílech pro původní stav. Vypočtené objemy jsou označovány jako minimální a obvykle se vyjadřují v Nm³ (normálních metrech krychlových pro T_n=273,15K, p_n=101,325kPa) na 1kg paliva pro suchý a vlhký stav. Při tom se předpokládá, že kyslík vázaný v hořlavině paliva se při spalování uvolní a zapojí se do hoření, takže o toto množství je možné snížit přívod vzdušného kyslíku.

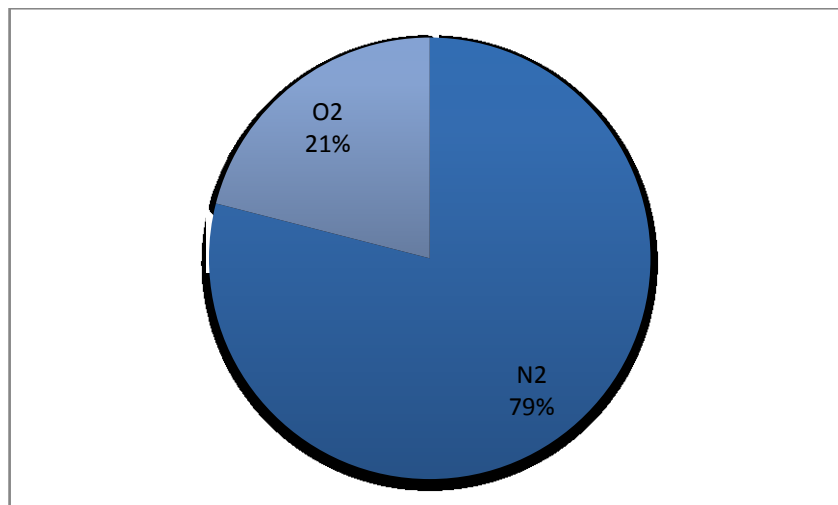
Minimální objem kyslíku potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

$$V_{O_2min} = 22,4 \cdot \left(\frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{S^r}{32} - \frac{O^r}{32} \right) [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.1.})$$

$$V_{O_2min} = 22,4 \cdot \left(\frac{0,6022}{12} + \frac{0,0359}{4} + \frac{0,0037}{32} - \frac{0,048}{32} \right)$$

$$V_{O_2min} = 1,2939 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objemové složení suchého vzduchu ze kterého vycházím ve svých výpočtech. Neuvažuji tedy s podílem oxidu uhličitého a dále s podílem vzácných plynů v nasávaném ovzduší.



(Graf 3.1. Uvažované objemové složení vzduchu v atmosféře)

Minimální objem suchého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

$$V_{VZSmin} = \frac{V_{O_2min}}{0,21} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.2.})$$

$$V_{VZSmin} = \frac{1,2939}{0,21}$$

$$V_{VZSmin} = 6,1616 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Při konstrukčních výpočtech pro běžné klimatické podmínky je možno volit velikost $\chi = 1,016[1]$ odpovídající přibližně relativní vlhkosti $\varphi = 70[\%]$ při teplotě $t_o = 20[^\circ C]$.

Minimální objem vlhkého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

$$V_{VZVmin} = \chi \cdot V_{VZSmin} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.3.})$$

$$V_{VZVmin} = 1,016 \cdot 6,1616$$

$$V_{VZVmin} = 6,2601 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Ze vzorce pro součinitel přebytku spalovacího vzduchu $\alpha = 1,27[1]$ vypočteme množství skutečného spalovacího vzduchu suchého a vlhkého

$$\alpha = \frac{V_{VZV}}{V_{VZVmin}} = \frac{V_{VZS}}{V_{VZSmin}} [1] \quad (\text{rovnice 3.4.})$$

Objem vzduchu skutečného suchého

$$V_{VZS} = \alpha \cdot V_{VZSmin} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.5.})$$

$$V_{VZS} = 1,27 \cdot 6,1616$$

$$V_{VZS} = 7,8252 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem vzduchu skutečného vlhkého

$$V_{VZV} = \alpha \cdot V_{VZVmin} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.6.})$$

$$V_{VZV} = 1,27 \cdot 6,2601$$

$$V_{VZV} = 7,9504 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem spalin dostaneme při dokonalém spálení 1kg paliva s množstvím přebytku vzduchu. Objem suchých spalin je dán součtem plynných složek, které vznikají při spalování.

Objem oxidu uhličitého

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot C^r [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.7.})$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,6022$$

$$V_{CO_2} = 1,1241 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem oxidu siřičitého

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot S^r [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.8.})$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 0,0037$$

$$V_{SO_2} = 0,00259 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem dusíku

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot N^r + 0,79 \cdot V_{VZS} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.9.})$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot 0,0085 + 0,79 \cdot 7,8252$$

$$V_{N_2} = 6,1887 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem kyslíku

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{VZSmin} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.10.})$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,27 - 1) \cdot 6,1616$$

$$V_{O_2} = 0,3494 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem suchých spalín

$$V_{SS} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.11.})$$

$$V_{SS} = 1,1241 + 0,00259 + 6,1887 + 0,3494$$

$$V_{SS} = 7,6648 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem vodní páry, ze spalování vodíku, odpařenou vlhkostí paliva a vlhkostí vzduchu

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H^r + \frac{22,4}{18} \cdot W^r + (\chi - 1) \cdot V_{VZS} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.12.})$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,0359 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,081 + (1,016 - 1) \cdot 7,8252$$

$$V_{H_2O} = 0,6281 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Objem vlhkých spalin z 1kg paliva tedy bude

$$V_{SV} = V_{SS} + V_{H_2O}^S [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.13.})$$

$$V_{SV} = 8,2929 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

3.1.1.Procentní složení spalin

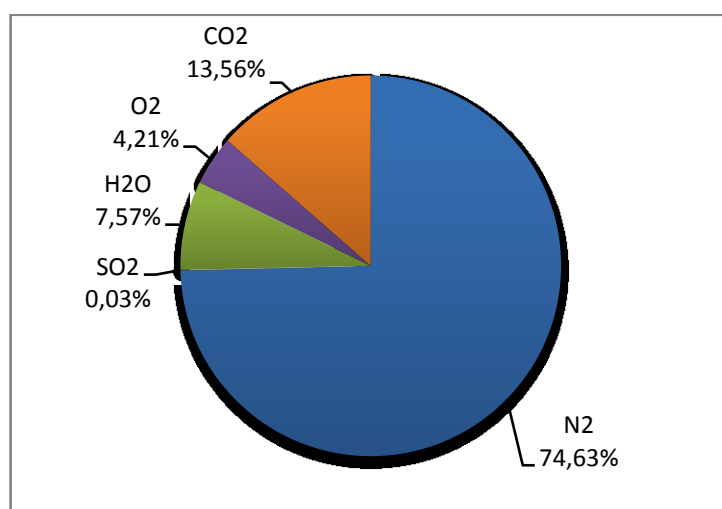
$$\omega_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{SV}} \cdot 100 = \frac{1,1241}{8,2929} \cdot 100 = 13,5552 [\%] \quad (\text{rovnice 3.14.})$$

$$\omega_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{SV}} \cdot 100 = \frac{0,0026}{8,2929} \cdot 100 = 0,0312 [\%] \quad (\text{rovnice 3.15.})$$

$$\omega_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{SV}} \cdot 100 = \frac{6,1887}{8,2929} \cdot 100 = 74,6270 [\%] \quad (\text{rovnice 3.16.})$$

$$\omega_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{SV}} \cdot 100 = \frac{0,3494}{8,2929} \cdot 100 = 4,2128 [\%] \quad (\text{rovnice 3.17.})$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{SV}} \cdot 100 = \frac{0,6281}{8,2929} \cdot 100 = 7,5738 [\%] \quad (\text{rovnice 3.18.})$$



(Graf 3.2. Objemové složení spalin)

Objem spalín z 1kg paliva při teplotě $t_s=140^\circ\text{C}$ s přebytkem vzduchu $\alpha = 1,27$

$$V_{SV}^{t_s} = V_{SV} \cdot \frac{273,15+t_s}{273,15} [m_N^3 \cdot kg^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.19.})$$

$$V_{SV}^{t_s} = 8,2929 \cdot \frac{273,15+140}{273,15}$$

$$V_{SV}^{t_s} = 12,5456 [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

3.2.Stanovení měrné tepelné kapacity spalín

K určení měrných tepelných kapacit jsem použil TAB. 4.9 z literatury [1]. K bližšímu určení pro teplotu 140°C jsem použil interpolační metodu.

$$c_{pCO_2} = \frac{1,7863-1,6996}{200-100} \cdot (140 - 100) + 1,6996 = 1,7345 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$c_{pSO_2} = \frac{1,9427-1,8631}{200-100} \cdot (140 - 100) + 1,8631 = 1,8949 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$c_{pO_2} = \frac{1,3372-1,3193}{200-100} \cdot (140 - 100) + 1,3193 = 1,3265 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$c_{pN_2} = \frac{1,2994-1,2951}{200-100} \cdot (140 - 100) + 1,2951 = 1,2968 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$c_{pH_2O} = \frac{1,5227-1,5062}{200-100} \cdot (140 - 100) + 1,5062 = 1,5128 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$c_{psp} = c_{pCO_2} \cdot \omega_{CO_2} + c_{pSO_2} \cdot \omega_{SO_2} + c_{pO_2} \cdot \omega_{O_2} + c_{pN_2} \cdot \omega_{N_2} + c_{pH_2O} \cdot \omega_{H_2O} \quad (\text{rovnice 3.20.})$$

$$c_{psp} = 1,7345 \cdot 0,13552 + 1,8949 \cdot 0,000312 + 1,3265 \cdot 0,04213 + \\ + 1,2968 \cdot 0,7463 + 1,5128 \cdot 0,07574$$

$$c_{psp} = 1,3739 [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

3.3.Stanovení účinnosti kotle nepřímou metodou

Účinnost lze určit:

- Přímou metodu: Tuto metodu lze použít jen u paliv, kde můžeme stanovit přivedené teplo, tím je myšleno znát množství paliva a výhřevnost paliva. Je tedy použitelná při spalování plyných paliv a nelze ji použít v případě elektrárny Dětmarovice.

Vzorec pro výpočet účinnosti přímou metodou:

$$\eta = \frac{\text{Výrobní teplo}}{\text{Přivedené teplo}} \cdot 100 [\%]$$

- Nepřímou metodu: Slouží pro výpočet spalování uhlí.

Vzorec pro výpočet účinnosti nepřímou metodou

$$\eta = 100 - \sum Z_i [\%]$$

Veličiny pro tuto kapitolu

A^r	[%]	Procento popeloviny v surovém vzorku paliva
c_{pop}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita popílku
c_{str}	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita strusky
C_{pop}	[1]	Podíl spálitelných tuhých zbytků v popílku
C_s	[1]	Podíl spálitelných tuhých zbytků ve strusce
Q_i	$[MJ \cdot kg^{-1}]$	Výhřevnost paliva
Q_{ic}	$[MJ \cdot kg^{-1}]$	Výhřevnost uhlíku
X_{pop}	[1]	Podíl popela z celkového množství v nedopalu
X_s	[1]	Podíl strusky z celkového množství v nedopalu
$C_s = 0,05$ [1] z TAB. 5.1 literatura [1]		

Výhřevnost hořlaviny = výhřevnost uhlíku $\Rightarrow Q_{ic} = 32,6 [MJ \cdot kg^{-1}]$

Ztráta nedopalem ve strusce

$$Z_{cstr} = \frac{C_s}{1-C_s} \cdot X_s \cdot \frac{A^r}{Q_i} \cdot Q_{ic} [\%] \quad (\text{rovnice 3.21.})$$

$$Z_{cstr} = \frac{0,05}{1-0,05} \cdot 0,08 \cdot \frac{22,04}{23,42} \cdot 32,6$$

$$Z_{cstr} = 0,1292 [\%]$$

Ztráta nedopalem v popílku

$$Z_{Cpop} = \frac{c_{pop}}{1-c_{pop}} \cdot X_{pop} \cdot \frac{A^r}{Q_i} \cdot Q_{ic} \quad [\%] \quad (\text{rovnice 3.22.})$$

$$Z_{Cpop} = \frac{0,05}{1-0,05} \cdot 0,03 \cdot \frac{22,04}{23,42} \cdot 32,6$$

$$Z_{Cpop} = 0,0484 \quad [\%]$$

3.3.1.Celková ztráta nedopalem

$$Z_C = Z_{Cpop} + Z_{Cstr} = 0,0484 + 0,1292 = 0,1776 \quad [\%] \quad (\text{rovnice 3.23.})$$

Ztráta fyzickým teplem ve strusce

$$c_{str} = 0,712 + 0,502 \cdot \frac{t_s + 273,15}{1000} \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.24.})$$

$$c_{str} = 0,712 + 0,502 \cdot \frac{1073,15}{1000}$$

$$c_{str} = 1,2507 \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$Z_{Fs} = \frac{X_s}{1-c_s} \cdot \frac{A^r}{Q_i} \cdot c_s \cdot \frac{t_s + 273,15}{1000} \quad (\text{rovnice 3.25.})$$

$$Z_{Fs} = \frac{0,15}{1-0,05} \cdot \frac{22,04}{23,42} \cdot 1,2507 \cdot \frac{1073,15}{1000} = 0,1994 \quad [\%]$$

Ztráta fyzickým teplem v popílku (pro teplotu uvažuji popílku 140°C)

$$c_{pop} = 0,712 + 0,502 \cdot \frac{t_{pop} + 273,15}{1000} \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (\text{rovnice 3.26.})$$

$$c_{pop} = 0,712 + 0,502 \cdot \frac{413,15}{1000}$$

$$c_{pop} = 0,9194 \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$Z_{Fpop} = \frac{X_{pop}}{1-c_{pop}} \cdot \frac{A^r}{Q_i} \cdot c_{pop} \cdot \frac{t_{pop}}{1000} \quad (\text{rovnice 3.27.})$$

$$Z_{Fpop} = \frac{0,85}{1-0,05} \cdot \frac{22,04}{23,42} \cdot 0,9194 \cdot \frac{413,15}{1000}$$

$$Z_{Fpop} = 0,3198 \quad [\%]$$

3.3.2.Celková ztráta fyzickým teplem

$$Z_F = Z_{Fpop} + Z_{Fs} = 0,3198 + 0,1994 = 0,5192 [\%] \quad (\text{rovnice 3.28.})$$

Komínová ztráta

$$Z_k = (100 - Z_c) \cdot \frac{V_{SV} \cdot c_{psp}}{Q_i} \cdot \frac{(t_{sp} - t_o)}{1000} [\%] \quad (\text{rovnice 3.29.})$$

$$Z_k = (100 - 0,1776) \cdot \frac{12,5456 \cdot 1,3739}{23,42} \cdot \frac{(140 - 20)}{1000}$$

$$Z_k = 8,8159 [\%]$$

3.3.3.Celková ztráta kotle

$$Z_{celk} = \sum Z_i [\%] \quad (\text{rovnice 3.30.})$$

$$Z_{celk} = Z_c + Z_k + Z_F$$

$$Z_{celk} = 0,1776 + 8,8159 + 0,5192$$

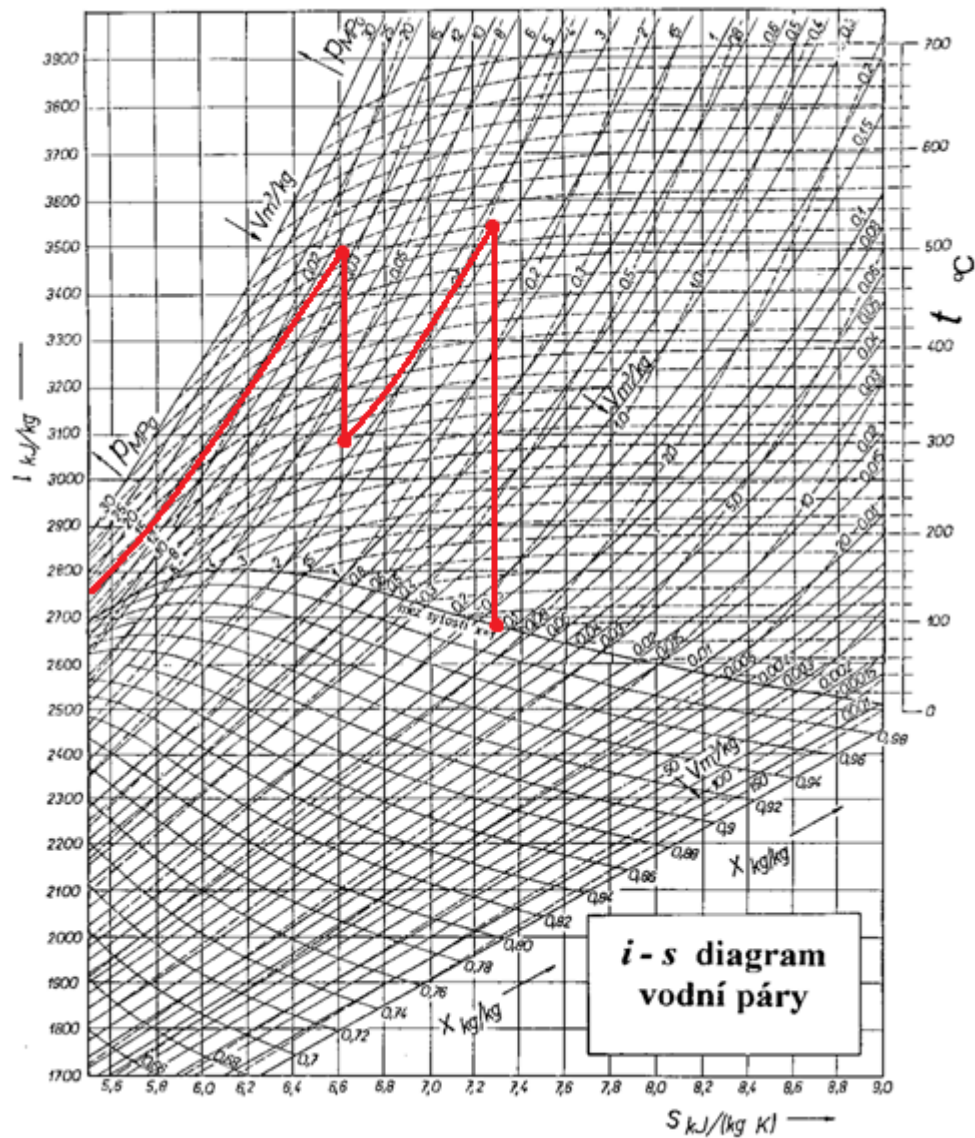
$$Z_{celk} = 9,5127 [\%]$$

3.3.4.Účinnost kotle nepřímou metodou

$$\eta = 100 - Z_{celk} = 100 - 9,5127 = 90,4873 [\%] \quad (\text{rovnice 3.31.})$$

4. Stanovení celkového tepelného výkonu kotle

Určení měrných tepelných kapacit a výpočet entalpií



(Graf 4.1. zobrazuje změny entalpií v době přehřívání a expanzi, v době přehřívání a expanzi)

Vstupní entalpie přehřáté páry

$$i_{pp}(540^{\circ}\text{C}; 17,4\text{MPa}) = 3480 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \text{ odečteno z diagramu}$$

Měrná tepelná kapacita napájecí vody a výpočet entalpie napájecí vody

$$c_p(240^\circ\text{C}; 22,1\text{MPa}) = (4,611 - 4,572) \cdot \frac{2,1}{5} + 4,572 = 4,588 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$c_p(260^\circ\text{C}; 22,1\text{MPa}) = (4,772 - 4,717) \cdot \frac{2,1}{5} + 4,717 = 4,740 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$c_{pNV}(250^\circ\text{C}; 22,1\text{MPa}) = (4,74 - 4,588) \cdot \frac{10}{20} + 4,588 = 4,664 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$i_{NV} = c_{pNV} \cdot \Delta t [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$i_{NV} = 4,664 \cdot (250 - 20) = 1072,732 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Měrná tepelná kapacita výstupu z mezipříhřevu páry a výpočet její entalpie

$$i_{MP2} = (540^\circ\text{C}; 3,63\text{MPa}) = 3520 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \text{ odečteno z diagramu}$$

Měrná tepelná kapacita vstupu do mezipříhřevu páry a výpočet její entalpie

$$i_{MP1} = (337^\circ\text{C}; 3,83\text{MPa}) = 3080 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \text{ odečteno z diagramu}$$

Měrná tepelná kapacita vstřikované vody do přehřáté páry a výpočet její entalpie

$$c_{pV}(160^\circ\text{C}; 5,53\text{MPa}) = 4,323 - (4,323 - 4,307) \cdot \frac{0,53}{5} = 4,321 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$c_{pV}(180^\circ\text{C}; 5,53\text{MPa}) = 4,390 - (4,390 - 4,370) \cdot \frac{0,53}{5} = 4,388 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$c_{pV}(163^\circ\text{C}; 5,53\text{MPa}) = 4,321 + (4,388 - 4,321) \cdot \frac{3}{20} = 4,331 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$i_V = c_{pV} \cdot \Delta t [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$i_V = 4,323 \cdot (163 - 20) = 619,333 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

4.1. Výpočet celkového tepelného výkonu kotle

$$Q_v = M_{PP} \cdot (i_{PP} - i_{NV}) + (M_{MP} - M_V) \cdot (i_{MP2} - i_{MP1}) + M_V \cdot (i_{MP2} - i_V) [\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_v = \frac{650000}{3600} \cdot (3480 - 1072,732) + \left(\frac{618500}{3600} \right) \cdot (3520 - 3080) + \\ + \frac{31500}{3600} \cdot (3520 - 619,333)$$

$$Q_v = 429228,944 + 75594,444 + 25380,836 = 530204,224 [\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Q_v = 530,204 [\text{MJ} \cdot \text{s}^{-1}]$$

5. Výpočet množství spotřebovaného paliva

Q_i	$[MJ \cdot kg^{-1}]$	Výhřevnost paliva
Q_v	$[MJ \cdot s^{-1}]$	Celkový tepelný výkon kotle
Z_{celk}	$[\%]$	Celková ztráta kotle
η	$[\%]$	Účinnost kotle

5.1. Skutečné množství paliva přivedeného do kotle

$$M_{pal} = \frac{Q_v}{Q_i \cdot \eta} = \frac{530,2}{23,42 \cdot 0,904873} = 25,0187 [kg \cdot s^{-1}] \quad (\text{rovnice 5.1.})$$

$$M_{pal} = 90,035 [t \cdot h^{-1}]$$

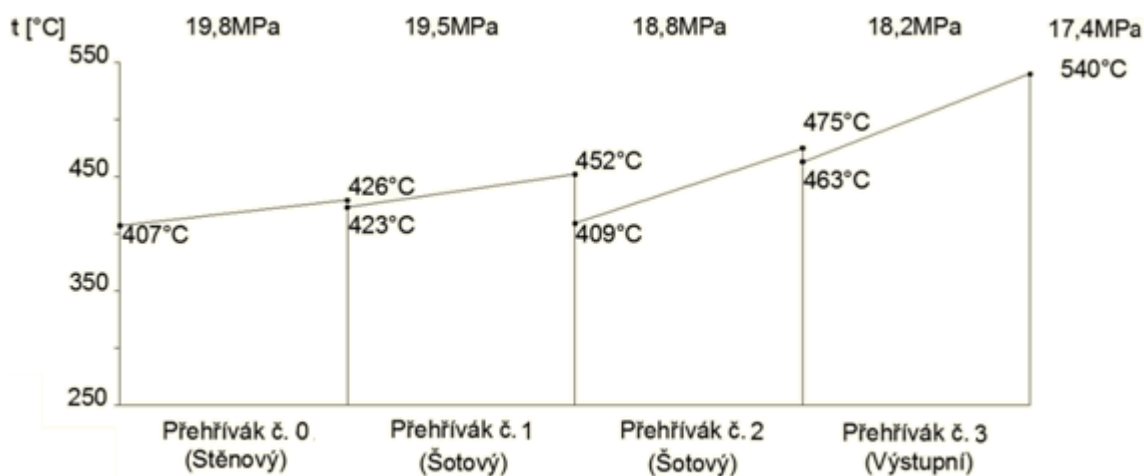
5.2. Výpočtové množství spáleného paliva

$$M_{pv} = M_{pal} \cdot (1 - Z_c) [t \cdot h^{-1}] \quad (\text{rovnice 5.2.})$$

$$M_{pv} = 90,035 \cdot (1 - 0,094803)$$

$$M_{pv} = 81,499 [t \cdot h^{-1}]$$

6. Množství vstříkované vody do jednotlivých přehříváků



(Graf 6.1 popisující teploty na jednotlivých přehřívácích)

Hodnoty entalpií vstřikované vody a páry na jednotlivých přehřívácích před a po vstřiku:
 Entalpie vody/páry určené programem EES

$$i_{VS} = 1087 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$i_{PR01} = 2970 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad i_{PR21} = 3184 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$i_{PR02} = 2956 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad i_{PR22} = 3143 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$i_{PR11} = 3093 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$i_{PR12} = 2908 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

6.1. Výpočet druhého vstřiku

Jedná se o soustavu dvou rovnic o dvou neznámých, potřebné k určení hmotnostního průtoku vody vstřikovaného za přehřívákem 2 (šotový přehřívák)

$$\dot{m}_{PR22} = \dot{m}_{VS2} + \dot{m}_{PR21} [1] \quad (\text{rovnice 6.1.})$$

$$\dot{m}_{PR22} \cdot i_{PR22} = \dot{m}_{VS2} \cdot i_{VS} + \dot{m}_{PR21} \cdot i_{PR21} [1] \quad (\text{rovnice 6.2.})$$

$$180,6 = \dot{m}_{VS2} + \dot{m}_{PR21}$$

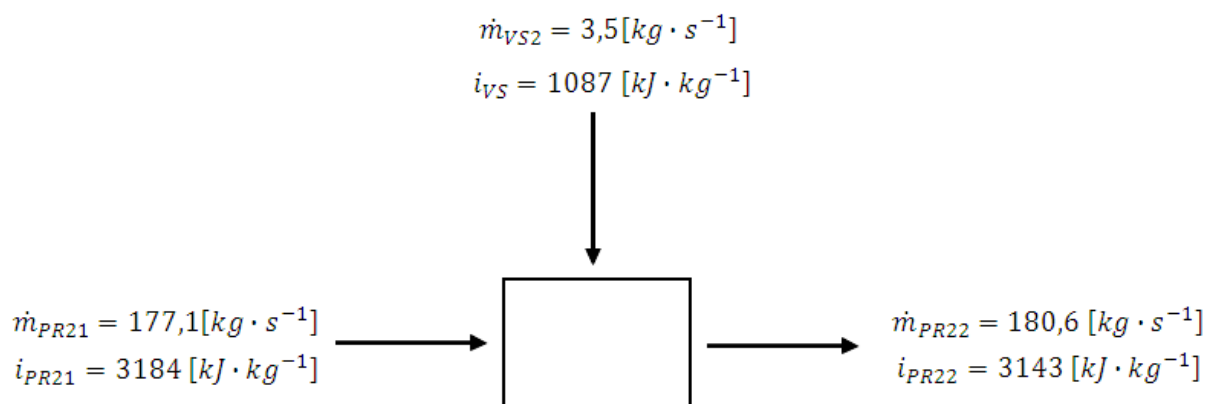
$$180,6 \cdot 3143 = \dot{m}_{VS2} \cdot 1087 + \dot{m}_{PR21} \cdot 3184$$

Výsledný vstřik mezi přehřívákem 2 a 3

$$\dot{m}_{VS2} = 3,5 [kg \cdot s^{-1}]$$

Hmotnostní průtok za 2. přehřívákem

$$\dot{m}_{PR21} = 177,1 [kg \cdot s^{-1}]$$



(Obr. 6.1. Schéma vstřiku za 2. přehřívákem)

6.2. Výpočet prvního vstříku

Jedná se o soustavu dvou rovnic o dvou neznámých, potřebné k určení hmotnostního průtoku vody vstříkovaného za přehřívákem č. 2 (šotový přehřívák)

$$\dot{m}_{PR12} = \dot{m}_{VS1} + \dot{m}_{PR11} [1] \quad (\text{rovnice 6.3.})$$

$$\dot{m}_{PR12} \cdot i_{PR12} = \dot{m}_{VS1} \cdot i_{VS1} + \dot{m}_{PR11} \cdot i_{PR11} [1] \quad (\text{rovnice 6.4.})$$

$$177,1 = \dot{m}_{VS1} + \dot{m}_{PR11}$$

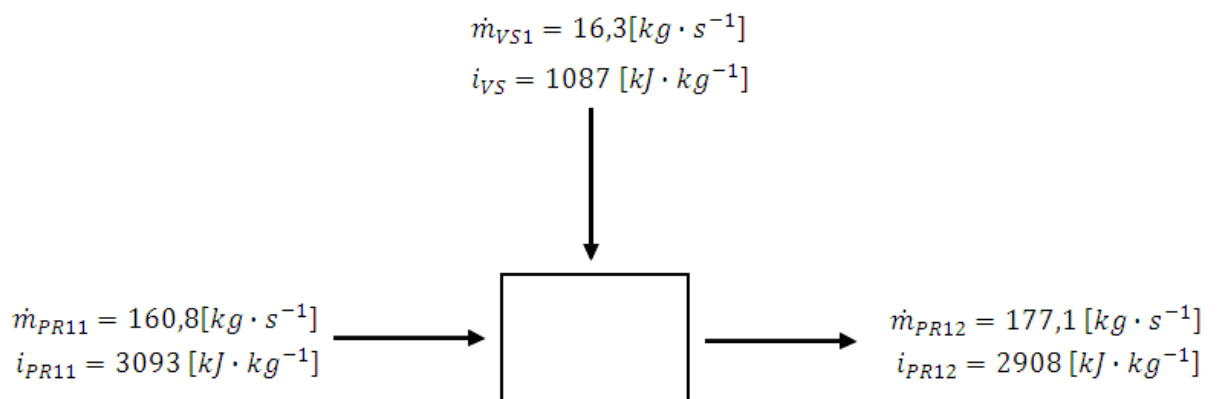
$$177,1 \cdot 2908 = \dot{m}_{VS1} \cdot 1087 + \dot{m}_{PR11} \cdot 3093$$

Výsledný vstřík mezi přehřívákem 1 a 2

$$\dot{m}_{VS1} = 16,3 [kg \cdot s^{-1}]$$

Hmotnostní průtok za 1. přehřívákem

$$\dot{m}_{PR11} = 160,8 [kg \cdot s^{-1}]$$



(Obr. 6.2. Schéma vstříku za 1. přehřívákem)

6.3.Výpočet nultého vstřiku

Jedná se o soustavu dvou rovnic o dvou neznámých, potřebné k určení hmotnostního průtoku vody vstřikovaného za přehřívákem č. 1 (stěnový přehřívák)

$$\dot{m}_{PR02} = \dot{m}_{VS0} + \dot{m}_{PR01} [1] \quad (\text{rovnice 6.5.})$$

$$\dot{m}_{PR02} \cdot i_{PR02} = \dot{m}_{VS0} \cdot i_{VS0} + \dot{m}_{PR01} \cdot i_{PR01} [1] \quad (\text{rovnice 6.6.})$$

$$160,7 = \dot{m}_{VS0} + \dot{m}_{PR01}$$

$$160,7 \cdot 2956 = \dot{m}_{VS0} \cdot 1087 + \dot{m}_{PR01} \cdot 2970$$

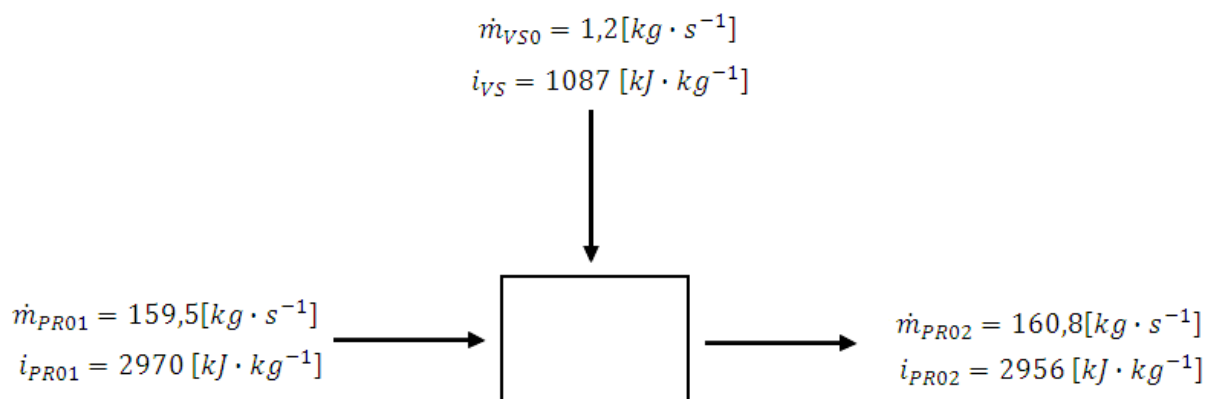
Výsledný vstřik mezi přehřívákem 0 a 1

$$\dot{m}_{VS0} = 1,2[kg \cdot s^{-1}]$$

Vstřik za nultým přehřívákem je poměrně malý a v některých provozních stavech je nulový, takže teplota není regulovaná. Pokud bychom za tímto vstřikem chtěli teplotu trvale regulovat, pak by se teplosměnná plocha přehříváku 0 musela zvětšit a o odpovídající velikost by se musela snížit plocha přehříváku 1. Znamená to tedy nové vyložení ploch a nový tepelný výpočet kotle, s rekonstrukcí přehříváku 0 a 1.

Hmotnostní průtok za 0. přehřívákem

$$\dot{m}_{PR01} = 159,5[kg \cdot s^{-1}]$$



(Obr. 6.3. Schéma vstřiku za 0. přehřívákem)

7. Závěr

V úvodu této práce jsem uvedl základní popis elektrárny Dětmarovice a její postavení v rámci společnosti ČEZ. Dále jsem detailněji popsal provedení průtočného kotle typu Benson, ke kterému jsem do přílohy č. 1 vypracoval schéma tlakového systému tohoto kotle a v příloze č. 2 řazení přehříváků a dalších prvků v oběhu voda/pára, tak jak jsou provedeny na kotli v EDĚ.

V následující kapitole jsem provedl stechiometrické výpočty a stanovil jsem složení a množství spalin při spalování černého uhlí. Procentuální složení spalin za kotlem: koncentrace oxidu uhličitého , koncentrace oxidu siřičitého 0,03[%], koncentrace dusíku 74,63[%], koncentrace kyslíku 4,21[%], koncentrace vodní páry 7,57[%].

Dále jsem stanovil ztráty potřebné pro výpočet účinnosti nepřímou metodou a to na základě sdělených a zadaných parametrů, jako jsou například teplota spalin za kotlem, přebytek vzduchu za kotlem, obsah spalitelných látek ve strusce a popílku...

Z výpočtů vyplývá, že tento kotel dosahuje velmi dobré účinnosti $\eta = 90,4873[\%]$. Vzhledem k vysoké účinnosti spalování (malý obsah spalitelných látek) a provedení kotle s membránovými stěnami je pro další zvýšení účinnosti možná jen jedna cesta a to zvýšení těsnosti regenerativního ohříváku vzduchu (snížení leakage). Ze stanovené účinnosti jsem stanovil přivedené a spálené množství paliva.

Při výpočtu množství vstřikované vody jsem vycházel z rozdělení teplot na jednotlivých přehřívácích a ze zvoleného ochlazení na jednotlivých vstřikových chladičích páry. Zajištění plynulé regulace na přehříváku 0 je možné jen při rekonstrukci teplosměnných ploch přehříváku u kotle, tak jak je uvedeno v kapitole 6.

Seznam použité literatury

- [1] DLOUHÝ, Tomáš. *Výpočty kotlů a spalných výměníků*. Praha : ČVUT, 2007. 212 s.
- [2] VILIMEC, Ladislav. *Stavba kotlů I.*. Ostrava : VŠB-TU, 2002. 116 s.
ISBN 80-248-0076-4
- [3] VILIMEC, Ladislav. *Stavba kotlů II.*. Ostrava : VŠB-TU, 1999. 151 s.
ISBN 80-7078-681-7

Seznam příloh

Příloha č. 1: Schéma tlakového systému kotle

Příloha č. 2: Řazení přehříváků